



(18) BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND  
  
DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

(12) **Offenlegungsschrift**  
(10) **DE 199 35 558 A 1**

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**B 82 B 3/00**  
B 29 C 59/02  
B 29 C 67/00  
G 01 B 7/14  
G 01 N 13/00  
B 81 C 1/00

(21) Aktenzeichen: 199 35 558.4  
(22) Anmeldetag: 30. 7. 1999  
(23) Offenlegungstag: 1. 3. 2001

---

<p>(71) Anmelder: Deutsche Telekom AG, 53113 Bonn, DE; Scheer, Hella-C., 42103 Wuppertal, DE; Echterhoff, Dirk, 42113 Wuppertal, DE</p>	<p>(72) Erfinder: Koops, Hans Wilfried Peter, Dr., 64372 Ober-Ramstadt, DE</p> <p>(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu ziehende Druckschriften: US 52 94 465 A US 53 38 178 KÖPPEL,Sascha, u.a.: Spritzguss stösst in immer kleinere Dimensionen vor. In: Kunststoffe- Synthetics, 1999, Bd.2, S.11-14; JP 4-270633 A.In: Patents Abstracts of Japan, M-1364, Feb. 8, 1993, Vol. 17, No. 64;</p>
---	---

---

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) **Verfahren zur Erzeugung von Strukturen in einem Substrat im Nanometerbereich**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung von Strukturen in einem Substrat im Nanometerbereich, wobei sich zwischen zwei elektrisch leitenden Werkstücken, von denen das eine eine Oberflächenstruktur trägt (Master) und das andere unstrukturiert ist (Substrat), ein thermoplastisch verformbares Polymer geringer Dicke befindet, daß durch Anlegen einer Spannung an den elektrisch leitfähigen Master und dem Substrat zwischen den beiden Grenzflächen der Werkstücke ein elektrisches Feld erzeugt wird, so daß eine elektrostatische Kraft zwischen Master und Substrat auf das dazwischen befindliche Polymer ausgeübt wird, daß entweder der frei beweglichen Master oder das frei bewegliche Substrat derart an das gegenüberliegende Werkstück angepreßt wird, wobei das Polymer erhitzt wird, so daß entsprechend der Viskosität des dazwischen liegenden Polymers bei geeigneter Temperaturführung eine Abformung des Masters in das Polymer erreicht wird.

**DE 199 35 558 A 1**

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung von Strukturen in einem Substrat im Nanometerbereich.

Die hochgenaue und kostengünstige Erzeugung von Strukturen in lateralen Größenordnungen bis herab zu einzelnen Nanometern ist eine Schlüsseltechnologie für die Herstellung zukünftiger miniaturisierter optischer, elektro-optischer, mikroelektronischer und mikrosystemtechnischer Bauelemente und Komponenten. Klassische Strukturierungsverfahren basieren auf der Lithographie (Belichtung und nachfolgende Entwicklung von lichtempfindlichen Polymeren (Photolack) und im allgemeinen dem Strukturübertrag aus der lithographisch erzeugten Maske mittels Ätzverfahren in eine darunterliegende Schicht, in Sonderfällen auch durch Deposition in den Zwischenräumen der Maske (Lift-Off-Verfahren). In dem genannten Strukturgrößenbereich kommen für die Lithographie nur harte Strahlung (Röntgenstrahlung, DUV), Elektronen oder Ionen in Frage; die hierfür erforderlichen Geräte sind kostenintensiv in Anschaffung und Betrieb und arbeiten zum Teil wegen ihrer selrilen Betriebsart langsam, was sie im Hinblick auf ständig steigende Substratgrößen (Wafer), insbesondere in der Mikroelektronik, aber auch für andere großflächige Einsatzbereiche unrentabel macht.

In Konkurrenz zu diesen klassischen Verfahren werden derzeit für die Erzeugung von Strukturen im Nanometerbereich Präge-, Druck- und Abformverfahren untersucht. Alle diese Verfahren beruhen auf der vielfachen Replikation eines Originals (Master), welcher z. B. mit den oben genannten konventionellen Techniken hergestellt wurde. Da die Replikation über große Flächen hinweg voll-parallel, teil-parallel (step-and-repeat-Verfahren) oder mittels Rollenübertrag erfolgt, sind sie für eine kostengünstige Herstellung von Tochterstrukturen durch mehrfaches Abformen geeignet. Während im Strukturgrößenbereich von Millimetern und Mikrometern diese Verfahren bereits erfolgreich auch zur Erzielung großer Aspektverhältnisse eingesetzt werden, befindet sich ihre Erprobung für den hier genannten Strukturgrößenbereich von Nanometern erst in der Anfangsphase.

Das Heißprägen erfolgt im derzeitigen Laborstadium in etwa nach folgendem Ablauf: Der abzuformende Master wird mit dem zu strukturierenden Substrat, welches zuvor mit einem thermoplastischen Polymer beschichtet wurde, in Kontakt gebracht. Substrat und/oder Master werden auf eine Temperatur oberhalb der Glastemperatur des Polymers erhitzt und zwischen beiden ein Druck ausgeübt, der geeignet ist, das im niedrig-viskosen Zustand befindliche Polymer zu verformen und ihm das durch den Master vorgegebene Oberflächenrelief aufzuprägen. Danach erfolgt die Abkühlung und Trennung von Master und Substrat. Typischerweise sind die zum erfolgreichen Absformen erforderlichen Drücke wesentlich von der lateralen Geometrie der Strukturen des Masters im Nahbereich und Fernbereich abhängig. Werte im Bereich um  $10^7$  Pa können als typisch für mittlere Anforderungen angesehen werden; diese Drücke können im Einzelfall spezieller Strukturgeometrien aber auch wesentlich über- oder unterschritten werden. Weiterhin geht die gewählte Prozeßtemperatur direkt in den für die Replikation erforderlichen Druck ein.

Das Prägeverfahren erlaubt die Erzeugung digitaler Oberflächenstrukturen (2 oder mehr Schichtdickenstufen), aber auch analoger Oberflächenstrukturen (Schrägen, gradierte Profile). Die geprägten Strukturen können entweder direkt verwendet werden (z. B. für optische Anwendungen) oder aber in die Oberfläche des Substrats oder eine sich dort befindliche dünne Materialschicht übertragen werden. Im Falle analoger oder mehrstufiger, digitaler Strukturen erfolgt

dies in einem anisotropen Trockenätzverfahren; bei Selektivitäten abweichend von 1 ändert sich dabei der Höhenmaßstab. Bei den für die Mikroelektronik typischen Anwendungen als Strukturierungsmaske (digitale Strukturen mit nur 2 Strukturhöhen) wird zunächst in einem anisotropen Ätzschritt die nach dem Prägen verbliebene Restschichtdicke entfernt, so daß freie Öffnungen in der Polymerschicht entstehen. Das Polymer selbst stellt dann eine Maske für nachfolgende Prozesse dar; z. B. kann über die so erzeugten Maskenöffnungen eine lokale Veränderung der Substratoberfläche durch Schichtabtrag oder -auftrag sowie z. B. Implantation erfolgen. Der Prägeprozeß ersetzt in diesem Fall die Lithographie für einen typischen Oberflächen-Strukturierungsvorgang.

15 Je nach Anwendung und gewünschten Strukturgeometrien liegen die Polymerschichtdicken im Bereich zwischen 50 nm und bis zu mehreren  $\mu\text{m}$ .

Die Aufbringung des Druckes erfolgt derzeit im Laborversfahren rein mechanisch (Klemmverschraubung), elektro-mechanisch (Motortrieb mit Spindel) oder aber hydraulisch (Druckzylinder), wobei nur die beiden letztgenannten Methoden eine definierte Aufbringung der erforderlichen Kraft ermöglichen und so die notwendigen Voraussetzungen für einen späteren reproduzierbaren Produktionseinsatz bieten.

20 25 Da eine strukturtreue Replikation von Strukturen im Nanometer-Bereich angestrebt ist, kann man die Genauigkeitsanforderungen an eine hierfür geeignete Presse als durchaus extrem bezeichnen. Trotz der unter Umständen hohen erforderlichen Drücke und der damit bei großen Flächen anstei-genden erforderlichen Kräfte müssen die insgesamt in einem solchen System auftretenden relativen mechanischen und thermischen Verzüge im Nanometer-Bereich gehalten werden. Nach konventionellen Realisierungsgesichtspunkten bedeutet dies in jedem Fall den Aufbau in Form von höchstpräzisen Einzelteilen – bevorzugt sind Materialien mit minimalem Ausdehnungskoeffizienten und hoher Biegefestigkeit wie z. B. Granit oder hochwertiger Stahl oder alternativ Aufbauten aus nur einem Material, so daß Relativbewegungen kompensiert werden können. Auf dem Markt

40 befindliche Lösungen für den Mikrometer-Strukturbereich (Heißprägeanlagen) arbeiten mit einem sehr stabilen 4-Säulen-Rahmen, der den hohen axialen Kräften bis zu 100 kN einer kugelgelührten Spindelpressen standhält. Eine hochpräzise Erzeugung und Messung der Kräfte während des Prozesses kann i. allg. nur über Hochlast-Piezoelementen und sehr steife Piezo-Kraftmeßdosen erfolgen. Darüber hinaus erfordert die für eine genaue Prozeßführung unbedingt notwen-dige Online-Messung der Prägetiefe den Einsatz von zusätzlichen hochpräzisen, kapazitiven Wegsensoren, die eine Auflösung im Suhnanometerbereich erreichen. Nach unserem Ermessen ist bisher kein Gerät auf dem Markt verfügbare, das bei den genannten Temperatur- und Druckersforde-rissen auch die Nanometer-Präzision gewährleistet. Die konsequente Weiterentwicklung verfügbarer Heißprägean-

50 lagen für diesen Genauigkeitsbereich läßt zwar Kosten für Investition und Betrieb eines Prägeverfahrens zur Erzeu-gung von Nanostrukturen erwarten, die sicherlich unter den derzeit genutzten konventionellen Lithographieverfahren liegen; wegen der Komplexität der Realisierung bie-ten diese Lösungen aber noch nicht die überzeugende Ein-fachheit, die sie für einen technischen Einsatz in einer Pro-duk tionsumgebung attraktiv machen würde.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein einfaches Verfahren zur Erzeugung von Nanostrukturen bereitzustellen.

55 60 Diese Aufgabe wird durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 gelöst.

In dem erfindungsgemäßen Verfahren wird der für das Prägen erforderliche hohe Druck durch die sogenannte

"Coulomb"-Kraft erzeugt, wie sie elektrisch entgegengesetzt geladene Platten aufeinander austüben. Das Coulomb'sche Gesetz zeigt, daß die Kraft proportional zum Quadrat der Ladung der Platte, d. h. zum Quadrat der anliegenden Spannung und umgekehrt proportional quadratisch zum Abstand ist. Ferner ist sie abhängig von der Dielektrizitätskonstante der zwischen den Platten liegenden Isolatorschicht. Das bedeutet unter der Annahme kleiner Abstände, daß durch Aufladen von zwei Flächen mit entgegengesetzter Ladung eine Anziehungskraft erzeugt werden kann, die in den Bereich der für die Nanoimprint-Technologie geforderten 100 Kilopond pro Quadratzentimeter kommen kann. Die hierfür erforderlichen Spannungen liegen je nach Schichtdicken und Materialeigenschaften des verwendeten Polymers in der Größenordnung von einigen 100 V und sind technisch leicht erreichbar.

Im Folgenden wird das erfundungsgemäße Verfahren anhand der Figuren näher beschrieben. Es zeigen:

**Fig. 1:** Schematischer Ablauf eines Prägevorgangs zur Erzeugung von Nanostrukturen

**Fig. 2:** Elektrostatische Presse für die Nanoimprint-Technologie, schematisch

**Fig. 3:** Kraftregelung im elektrostatischen Imprint-Prozess durch rechnergesteuerte Dickenmessung, Kraftkontrolle durch Schwingkreis-Kapazitätsmessung und Temperatursteuerung entsprechend dem Prozessablauf.

**Fig. 4:** Schema der rechnergeführten Pressensteuerung

Die Anordnung besteht also aus einer Dreischichtanordnung, dem zu strukturierenden elektrisch leitfähigen Substrat (Wafer) als einer Elektrode, einer isolierenden thermoplastischen Polymerschicht, deren Dicke je nach Strukturgeometrie zwischen etwa 50 nm und mehreren  $\mu\text{m}$  liegen kann, und dem leitfähigen Master (Original), der auf seiner Oberfläche die abzuformenden Strukturen trägt. Von Vorteil wäre eine Belegung der Master mit einer durchschlagfesten Nitrid- oder Oxid-Schicht oder aber eine direkte Fertigung in einem solchen Material oder einem Substrat mit einer solchen Oberflächenschicht, so daß erhabene Strukturen des Masters die Platten nicht kurzschießen oder Überschläge durch die dünne Polymerschicht verursachen können. Gleichzeitig wird durch diese Maßnahme die Härte der Originalstruktur erhöht, was die Standzeit des Masters verlängert. Zusätzlich wird durch die Wahl eines Materials mit hoher Dielektrizitätskonstante die erforderliche Spannung reduziert. Alternativ dazu kann auch eine strukturierte Masterschicht aus leitfähigem oder halbleitendem Material (z. B. poly-Silizium) zum Einsatz kommen, das auf einer nichtleitenden Zwischenschicht (typischerweise Oxid) aufgebracht ist.

Beide Platten (Master und Substrat) werden an eine regelbare Spannungsquelle elektrisch angeschlossen, so daß die Aufladung der Fläche, d. h. dieser nun entstandenen Kapazität aus Substrat und Master, mit isolierendem zwischenliegendem Lack bewerkstelligt wird. Entsprechend der elektrostatischen Anziehung dieser beiden Platten entsteht ein hoher Druck, der durch die geringe Dicke der zum Einsatz kommenden Lackschicht bereits bei einer Schicht von einem Mikrometer und einer anliegenden Spannung von 700 Volt die erforderlichen 100 Kilopond pro  $\text{cm}^2$  bereitstellt, so daß mit dieser Anordnung die Voraussetzung für das Nanoimprinting geschaffen werden kann.

Durch das Anlegen der Spannung und die damit entstehende Kraft wird es auch möglich, zeitabhängig eine Kraftsteuerung durch eine rechnergesteuerte Einstellung der Spannung vorzunehmen. Dadurch können die aus einer temperaturabhängigen Viskosität und einer abstandsabhängigen Kraft resultierenden Änderungen der aktuell wirksamen Kraft, die aufgrund der anziehenden Ladungen erzeugt wird,

eingestellt und dem gewünschten Prozeßverlauf angepaßt werden.

Ein weiterer Vorteil der Anordnung ist es, daß das Trennen der beiden Platten durch Anlegen einer gleichnamigen

- 5 Ladung an den Flächen erfolgen kann, was dazu führt, daß die beiden Platten sich abstoßen und auf diese Weise mit einer erheblichen Kraft die Trennung des Masters vom geprägten Substrat erreicht werden kann – derzeit muß im Falle einer Haftung zwischen Substrat und Master durch
- 10 eine mechanische Krafteinwirkung eine Trennung erfolgen, die immer eine zusätzliche Scherbelastung der Polymerschicht mit sich bringt und leicht zum Filmabriss führen kann. Entsprechend der Oberflächenhaftung auf dem Master oder dem zu strukturierenden Substrat kann so eine über die gesamte Fläche parallel wirksame senkrecht zur Oberfläche angreifende Trennung gewährleistet werden, die weitestgehend einen Filmabriss verhindern sollte.

Zum Dritten kann die zeitabhängige Steuerungsmöglichkeit der Spannung für eine gezielte Prozeßführung ausgenutzt werden, um zu bestimmten Zeitpunkten oder über bestimmte Teilabschritte des Prägeprozesses hinweg, die durch unterschiedliche Viskositäten des thermoplastischen Polymers gekennzeichnet sind, unterschiedliche Kontaktdrücke wirksam werden zu lassen.

- 20 25 Ein wesentlicher Vorteil der hier beschriebenen Ausführung im Vergleich zu alternativen Lösungen mit hydraulischer oder elektromechanischer Kraftaufbringung besteht in der Tatsache, daß das beschriebene elektrostatische Verfahren durch die anliegende Spannung eine Kraft pro Fläche vermittelt, also direkt einen Druck einstellt. Dies hat zum einen den Vorteil, daß sich auch bei steigenden Flächen die Verhältnisse nicht ändern – in konventionellen Verfahren muß proportional zur Fläche auch die Kraft erhöht werden, was die Konstruktion von Pressen für große Flächen mit 30 35 konventionellen Techniken stark limitiert bzw. erschwert.

Ein weiterer Vorteil des elektrostatischen Verfahrens liegt in der Prozeßkontrolle: Bei Verwendung von leitfähigen Masterstrukturen wird der bei anliegender Spannung vorliegende lokale Druck nahezu unabhängig von der Strukturgeometrie und damit insbesondere unabhängig von der Größe der aktuellen Kontaktfläche zwischen Masterstrukturen und Substrat- bzw. Polymeroberfläche sein. Dies ist bei konventionellen Verfahren nicht der Fall, bei denen zwar eine definierte Kraft auf die Gesamtfläche der Dreischichtstruktur wirkt, in der Anfangsphase des Prägens aber in einen lokal unterschiedlichen Druck umgewandelt wird, solange nicht die gesamte strukturierte Masteroberfläche in Kontakt mit dem Polymer ist. Dieser Umstand führt bei den konventionellen Verfahren dazu, daß unter Umständen sehr 40 45 50 komplizierte und vor allem von den zu übertragenden Strukturgeometrien abhängige Druck-Ablaufsteuerungen erforderlich sind.

Darüber hinaus ist es möglich, über eine einfache Kapazitätsmessung eine Rückkopplung derart einzuführen, daß die eingestellte Kraft konstant gehalten wird oder der Prozeß auf vorgegebene, konstante oder variable Weise abläuft und z. B. bestimmte Prägetiefen eingestellt werden können. Das ist bei den herkömmlichen Verfahren nicht ohne weiteres möglich.

- 55 60 Durch diese Möglichkeit des dynamischen Rückkopplens der Spannung an die erforderliche Kraft können Lackdickenunterschiede entdeckt und im Prozess automatisch ausgeglichen werden und so Unebenheiten in der Dielektrikums-Schicht kompensiert werden. Dies ist besonders dann von Bedeutung, wenn bei großflächiger Strukturierung nicht so präzise Verfahren zum Aufbringen der Polymerschicht, wie z. B. räkeln oder Siebdruck eingesetzt werden. Dies ist zum Beispiel bei der Herstellung von Flachbildschirmen

von Bedeutung.

Das dynamische Ansprechverhalten dieses System ist einer hydraulischen Lösung aufgrund der geringen bewegten Massen bei weitem überlegen. Insofern kann beim Betrieb mit einer kleinen der Gleichspannung überlagerten Wechselspannung, z. B. im Ultraschallbereich, eine effektive Viskositätsänderung des abzuformenden Polymers mit Vorteil zur Verbesserung der Flussbedingungen während des Prägeprozesses genutzt werden.

Das elektrostatische Verfahren ist nicht nur auf die Ausführungsformen mit flächigen Mastern und Substraten anwendbar, sondern auch vorteilhaft bei der rollenden Abformung eines endlos strukturierten Masters, wobei sowohl die Möglichkeit der starren Rolle als auch die einer weichen Rolle in Betracht gezogen werden kann. Als Beispiel für die weiche Rolle soll hier ein aufgeblasener Autoreifen dienen, der dort, wo er aufliegt, eine Auflagefläche entstehen läßt, welche durch den Luft-Druck in ihrer Größe eingestellt wird. Damit ist die aktive Fläche einstellbar, zusätzlich zur weiteren Einstellung der Kraft durch die Spannung.

Diese zusätzliche feine Flächeneinstellung ist dann vorteilhaft, wenn sehr große Flächen durch periodische oder andere Muster mit Rapport mit der Rolle aufgetragen werden sollen. Hier kann man dann die Belegungsbreite mit dem Verfahren fein voreinstellen und den Druck dann unabhängig mit der Spannung einstellen.

Die Anordnung kann auch mit Vorteil zum Einsatz kommen, um vor dem eigentlichen Prägeprozeß eine definierte Justierung von Strukturen auf dem Master zu bereits vorher hergestellten Strukturen auf dem Substrat zu fixieren. Hierfür kann z. B. die Anordnung zunächst ohne oder nur mit minimaler Spannung beaufschlagt in einem dafür geeigneten Justiergerät zum Einsatz kommen. Die Justierung kann dabei auf optischem Wege z. B. durch den Master oder durch das Substrat hindurch erfolgen – die hierfür erforderliche Transparenz im verwendeten Wellenlängenbereich kann bei Einsatz von sehr dünnen Metallschichten für die Elektroden sichergestellt werden. Alternativ sind mechanische Justierverfahren denkbar. Nach Abschluß der Justierung wird eine Spannung angelegt, die ausreicht, um ein Verschieben von Substrat und Master zu verhindern, und die Anordnung in die Prozeßumgebung gebracht, die die erforderliche Heizung der Dreischicht-Anordnung ermöglicht. Als am besten dem elektrostatischen Pressverfahren angepaßte Justierung bietet sich zusätzlich zu der genannten optischen und mechanischen Justierung eine elektrische Justierung über an der Peripherie des Masters und Substrates angebrachte elektrisch kontaktierte Markierungen (Flächen) an, bei denen z. B. anhand der gemessenen Kapazität eine Ausrichtung erfolgt. Die Auflösung der kapazitiv gemessenen Justierung kann dabei durch spezielle nichtperiodische Ausformung der Marken gesteigert werden.

Bei der Verwendung von Mastern mit analogen Strukturen oder unterschiedlichen Strukturhöhen (Digitalstrukturen mit mehr als 2 Schichtdicken) kann alternativ zu einem Master, dessen Strukturen in nichtleitendem Material ausgeführt sind, auch mit Vorteil ein Master zum Einsatz kommen, dessen strukturierte Oberfläche leitend und nicht von der Ansteuerelektrode isoliert ist. In diesem Fall entstehen im Bereich der am weitesten hervorstehenden Strukturen die größten Kräfte und damit dort die stärkste Verdrängungswirkung für das zu verformende Polymer. Dieser Umstand kann bei speziellen Strukturgeometrien vorteilhaft für die Prozeßführung ausgenutzt werden, bei denen eine lokale Veränderlichkeit der wirkenden Kraft vorteilhaft ist. Er kann aber ebenso vorteilhaft für die Trennung von Substrat und Master durch die oben beschriebene gleichnamige Polarisation insbesondere bei der Abformung mit hohen Aspektverhältnis-

sen zum Einsatz kommen.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung von Strukturen in einem Substrat im Nanometerbereich dadurch gekennzeichnet,

dab daß sich zwischen zwei elektrisch leitenden Werkstücken, von denen das eine eine Oberflächenstruktur trägt (Master) und das andere unstrukturiert ist (Substrat), ein thermoplastisch verformbares Polymer geringer Dicke befindet,

dab daß durch Anlegen einer Spannung an den elektrisch leitfähigen Master und dem Substrat zwischen den beiden Grenzflächen der Werkstücke ein elektrisches Feld erzeugt wird, so daß eine elektrostatische Kraft zwischen Master und Substrat auf das dazwischen befindliche Polymer ausgeübt wird,

dab entweder der frei beweglichen Master oder das frei bewegliche Substrat derart an das gegenüberliegende Werkstück angepreßt wird, wobei das Polymer erhitzt wird, daß entsprechend der Viskosität des dazwischen liegenden Polymers bei geeigneter Temperaturführung eine Abformung des Masters in das Polymer erreicht wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

dab die Abformung zeitlich gesteuert wird, und dab durch Einsatz von Hochfrequenzmeßtechnik durch Kapazitätsmessung eine gezielte Steuerung des Abstandes und damit der Dicke des Polymers zwischen den beiden leitenden Werkstücken integriert über die Fläche eingeregelt werden kann und der Prozeß Abformung unter Rechnersteuerung und Kontrolle ausgeführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Master aus einem mechanisch stabilen optisch transparenten oder nicht transparenten Substratmaterial hergestellt ist und eine strukturierte elektrisch leitende Oberflächenschicht aufweist, über welche eine elektrische Spannung angelegt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Master aus einem mechanisch stabilen optisch transparenten oder nicht transparenten Substratmaterial hergestellt ist und eine strukturierte elektrisch nichtleitende Oberflächenschicht auf einer metallisch elektrisch leitenden Zwischenschicht aufweist, über welche eine elektrische Spannung angelegt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4 dadurch gekennzeichnet, daß die Oberflächenstrukturen des Masters digitaler oder analoger Art sein können, innerhalb eines Masters unterschiedliche Strukturgeometrien zwischen wenigen Nanometern und 1 mm aufweisen, und zusätzlich zu den abzuformenden Strukturen weitere Strukturen tragen, die für die genaue Justierung unterschiedlicher Strukturierungsvorgänge übereinander sowie für die Prozeßführung zum Einsatz kommen.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5 dadurch gekennzeichnet, daß das zu strukturierende Substrat mit leitfähiger Oberfläche oder optisch transparenter leitfähiger Oberfläche oder metallischer Oberfläche ausgeführt ist und auf diesem eine zur Abformung dienende vorgegebene Polymerschicht oder Matrixmatrix geeigneter Dicke aufgebracht ist.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Aufbau des Drucks über die angelegte Spannung unabhängig von der Größe der

# DE 199 35 558 A 1

7

zu pressenden Werkstück-Flächen ist, so daß ohne Veränderung der erforderlichen Spannungspegel eine beliebige Hochskalierung der zu pressenden Flächen erfolgen kann.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der lokal wirksame Druck nahezu konstant und unabhängig von der lokalen Kontaktfläche ist, auch wenn nur ein Kontakt über die erhabenen Masterstrukturen besteht, so daß eine weitgehend von der lokalen Strukturgeometrie unabhängige Kraftübertragung erfolgt. 10

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 8 dadurch gekennzeichnet, daß über die Spannungszuführung zum leitfähigen Master und zum auf seiner Oberfläche mit einem Polymer oder einer Matrixmaterie belegten Substrat, welches strukturiert werden soll, eine Spannung angelegt wird, daß diese Spannung über einen Schwingkreis an eine Referenzkapazität angeschlossen wird und in einer Hochfrequenzmeßbrücke zur Kapazitätsmessung eingebaut ist, daß durch die Bestimmung der Kapazität während des Prägeprozesses bei bekannter Auflagefläche der Abstand und damit die abformende Kraft gemessen wird und auf diese Weise das Viskositätsverhalten des zu strukturierenden Polymers genau vermessen und voreingestellt ausgenützt wird und vorliegende Ungenauigkeiten der Polymerschichtdicke erkannt und auskompensiert werden, um eine optimale Abformung der Struktur des Masters zu erreichen. 30

10. Verfahren nach Anspruch 9 dadurch gekennzeichnet, daß durch die Rückkopplung der Kapazitätsmessung Prozeßbeginn und Prozeßende des Prägeprozesses genauer definiert werden, definierte Prozeßabläufe gesteuert und geregelt durchgeführt werden und daß im Anschluß daran durch Umschalten der Spannung auf gleichnamige Polarität und damit gleichnamige Ladung ein senkrecht zu den Platten wirkendes mechanisches Trennen von Master und Substrat mit dem darauf befindlichen strukturierten Polymer bewerkstelligt wird, wobei kurze Prozeßzeiten erzielt werden und eine mechanische Scherbelastung des strukturierten Polymers während des Tränngvorganges vermieden wird. 40

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß um das zu pressende und zu strukturierende Werkstück herum noch weitere Flächen angeordnet sind, die die elektrostatischen Potentiale am Rand der Fläche so beeinflussen, 50

daß die Kraftwirkung auf der ganzen Fläche vorgegeben ist und die geeignete Kraftverteilung zum Rande hin sich nicht nachteilig verändert, wie es erforderlich ist, um diese Kraftverteilung zu haben, wobei diese weiteren Flächen um den Master herum in größerem Abstand von der Lackoberfläche angebracht sind, und daß diese weiteren Flächen mit einer geeigneten Spannung derart versorgt werden, daß die Feldverteilung so aufrecht erhalten wird, daß auch die Kräfte am Rande die gleichen sind wie in der Mitte. 55

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Verfahren bei geeignet reduzierten Spannungen und damit kleinen Anpreßkräften auch zur Fixierung einer vor dem eigentlichen Prägeprozeß vorgenommenen Justierung bezüglich vorhandener Marken auf einem bereits in einem davor liegenden Arbeitsschritt vorstrukturierten Substrat genutzt wird, wie es für eine mehrlagige Strukturierung 65

8

von Oberflächen erforderlich ist.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß mit geregelter Kraftverteilung und definierter Abstandskontrolle und Prozeßführung auch kleinste Partikel durch Aufbringen auf einer leitfähigen Master-Trägerstruktur und geeignete Abstandsregelung durch die Kapazitätsmessung sicher abgeformt werden können.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß Master, Substrat und Polymer drei getrennte Bestandteile bilden können und das Polymer in Form einer dünnen endlosen Folie dem Prozeß zugeführt oder aber in einem Druckprozeß auf das Substrat aufgebracht wird, was die Belegung und Strukturierung größerer Flächen mit dieser Einheit ermöglicht.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß ein endloser Master in Form einer abrollenden verformbaren Struktur ausgeführt ist, wobei durch die vorgegebenen Druckverhältnisse und Elastizitätsverhältnisse der abrollenden verformbaren Struktur eine definierte Auflagefläche erzielt wird und daß diese Oberfläche der deformierbaren Masterstruktur ebenfalls durch elektrische Kraft auf dem zu belegenden Werkstück bzw. Probewaffer angepreßt wird, in der Weise, daß die erforderliche Kraft zur Verdrängung der viskosen Lackmasse in den Masterstrukturen durch den Erfordernissen entsprechende Prozeßführung eingestellt wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß die für die Erzeugung der Druckkraft erforderliche Spannung auch zwischen dem Master und einer Hilfselektrode bei dazwischenliegendem zu strukturierendem Substrat mit Polymer oder aber zwischen zwei Hilfselektroden angelegt wird, zwischen denen sich der Master und das mit diesem in Kontakt befindliche zu strukturierende Substrat mit dem Polymer befindet.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die den Anpressdruck bewerkstelligende angelegte elektrische Spannung als Gleichspannung mit einer überlagerten Wechselspannung bereitgestellt wird, um eine effektive Viskositätsänderung des Polymers bei mechanischer Wechselbelastung zur Verbesserung der Prägeeigenschaften auszunutzen.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

**- Leerseite -**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

- Original (Master) und Substrat mit Polymer
- Aufheizen über die Giastemperatur  $T_g$
- Druck aufbringen → Dickenkontrast
- Entfernen der Restschichtdicke (Trockenätzen)

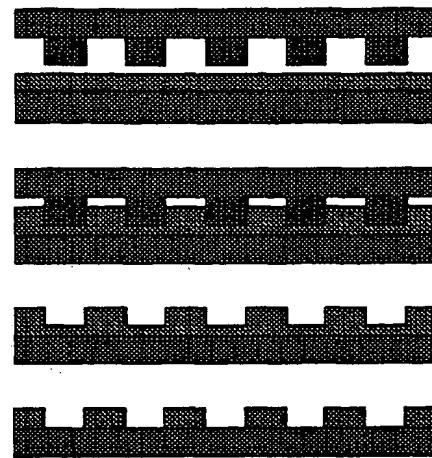


Fig. 1

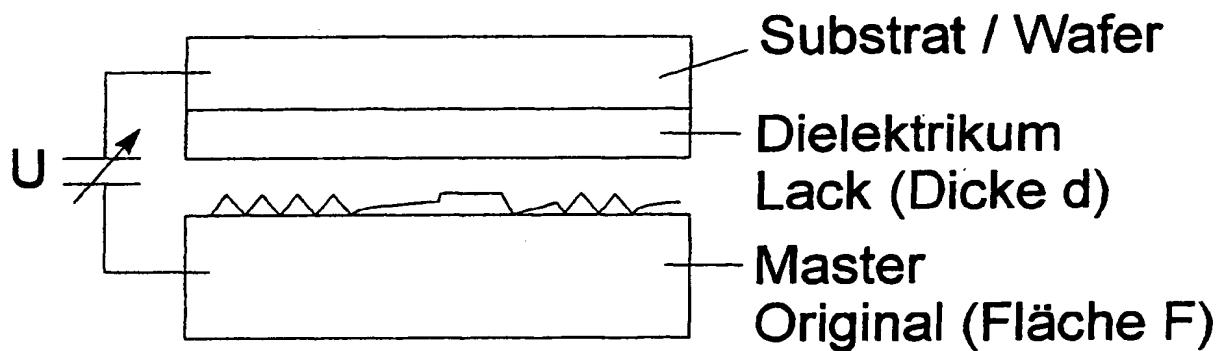
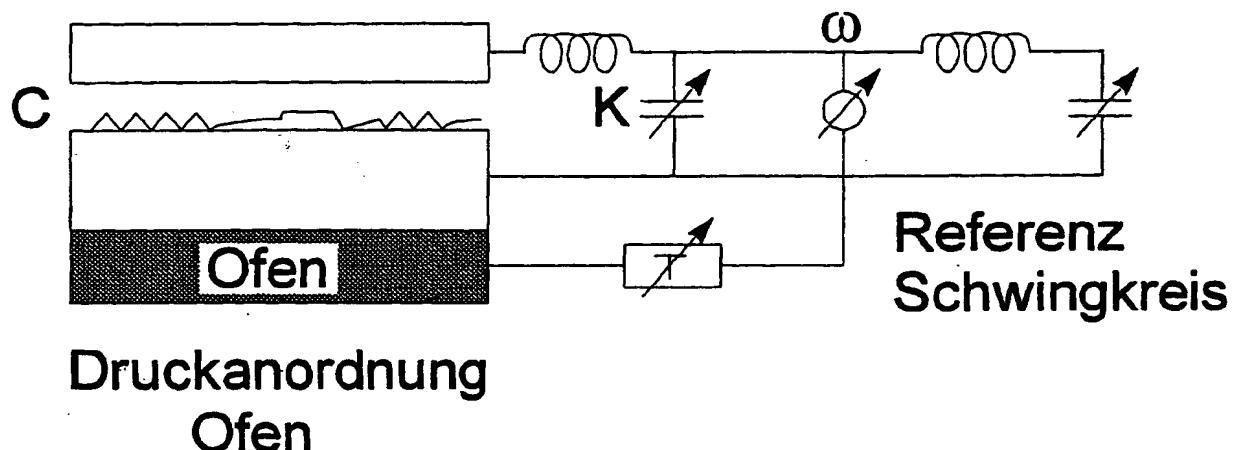


Fig. 2

 $\omega$  = Differenzfrequenz

Referenzschwingkreis

Fig. 3

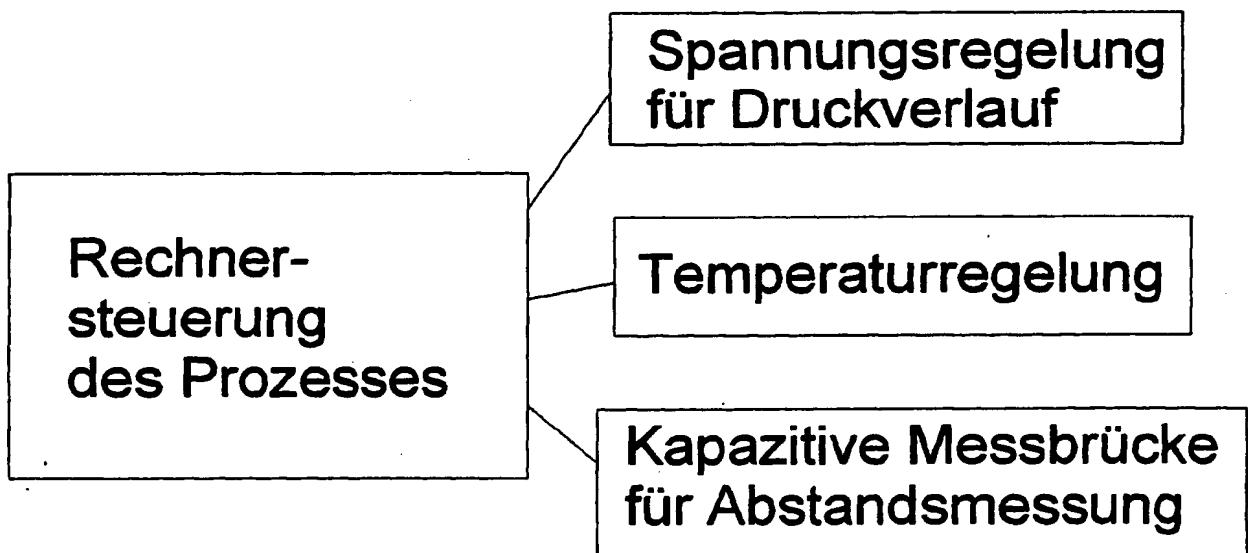


Fig. 4